

0718855-1

На правах рукописи



ОСИПОВА ВЕНЕРА ЮСУПОВНА

**ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ
В ОРГАНАХ ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛОВО-ПИХТОВЫХ ЛЕСОВ
РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ**


Специальность **03.00.16** – экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Казань - 2000

Диссертационная работа выполнена на кафедрах химии Марийского государственного технического университета и прикладной экологии Казанского государственного университета.

Научные руководители: доктор химических наук,
профессор **Латыпова В.З.**,
кандидат химических наук,
доцент **Винокурова Р.И.**

Официальные оппоненты: доктор химических наук,
НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА профессор **Будников Г.К.**,
КФУ доктор биологических наук,
 профессор **Сабилов А.Т.**

0000947813

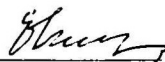
Ведущее учреждение – Марийский государственный университет.

Защита диссертации состоится «22» ноября 2000 г.
в 13 часов на заседании диссертационного совета К 053.29.24
при Казанском государственном университете по адресу:
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного университета.

Автореферат разослан «21» октября 2000 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор химических наук, доцент Евтюгин Г.А.



ВВЕДЕНИЕ



Актуальность темы. В настоящее время значительное внимание уделяется изучению химического состава различных объектов биосферы при решении таких проблем как геохимия ландшафта, разработка биогеохимических методов поиска месторождений полезных ископаемых, роль микроэлементов в жизни растений, агроэкология, охрана окружающей среды. Основной традицией отечественной биогеохимии является исследование участков суши с выраженной геологической пестротой - районы молодых гор, рудных месторождений, где моно- и полиэлементные аномалии более вероятны. Большинство этих исследований проводится с целью установления выявления биогеохимических провинций с избытком либо недостатком тех или иных физиологически важных микроэлементов. В то же время большие территории не охвачены биогеохимическими исследованиями, мало изучено влияние естественного геохимического фона и антропогенных факторов на формирование элементного состава природных объектов, в частности естественнорастущих растений.

В связи с постоянным техногенным загрязнением окружающей среды токсичными элементами большое значение приобретают исследования фоновых территорий, удаленных от крупных промышленных центров и, по этой причине, характеризующихся минимальным загрязнением сформированных на них природных экосистем. Проведение на сохранившихся фоновых территориях фитогеохимических исследований, в основе которых лежит выявленная Вернадским концентрационная функция живых организмов, представляет собой актуальную экологическую задачу. Подобные исследования вариативности микроэлементного состава растений позволят углубить представления о закономерностях формирования элементного состава растительных организмов, биогенной миграции микроэлементов, служить отправными точками при организации экологического мониторинга на территориях, оптимизации региональных экологических программ мониторинга с целью досто-

верного прогнозирования экологической ситуации в регионе и оценки допустимых антропогенных нагрузок. В Среднем Поволжье условно фоновой территорией можно считать Республику Марий Эл с высокой степенью лесистости ее ландшафтов и сохранившимися елово-пихтовыми фитоценозами, представляющими значительную ценность.

Целью данной работы является комплексное исследование характера поглощения и распределения микроэлементов в органах ели европейской (*Picea abies* Karst.) и пихты сибирской (*Abies sibirica* Ldb.) елово-пихтовых лесов, произрастающих в условно фоновых районах Республики Марий Эл.

При этом решались следующие задачи:

-Определить содержание микроэлементов (Zn, Cu, Mo, Be, V, Co, Ni, Mn, Sn, Cr, Pb, B, Ba, Cd) в органах *Picea abies* и *Abies sibirica* елово-пихтовых лесов на фоновых территориях, создать базу данных фоновых уровней валового содержания микроэлементов в органах хвойных деревьев.

-Разработать математическую статистическую модель распределения микроэлементов в системе почва-растение (органы).

-Выявить индикационно значимые органы хвойных деревьев.

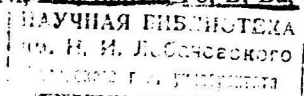
-Количественно охарактеризовать степень биоаккумуляции микроэлементов органами хвойных деревьев.

-Выявить парagenные ассоциации микроэлементов по степени их биоаккумуляции и характеру распределения в органах *Picea abies* и *Abies sibirica*.

-Найти количественное выражение для возможности использования зольности растительного образца, как показателя содержания в нем микроэлементов.

На защиту выносятся следующие положения:

• База данных фоновых уровней валового содержания микроэлементов (Zn, Cu, Mo, Be, V, Co, Ni, Mn, Sn, Cr, Pb, B, Ba, Cd) и коэффициентов их



биологического поглощения в органах *Picea abies* и *Abies sibirica*, произрастающих в елово-пихтовых лесах Республики Марий Эл.

- Математическое описание распределения микроэлементов в системе почва-органы *Picea abies* и *Abies sibirica*.
- Обоснование индикационной значимости органа (коры), а также зольности, как репрезентативного показателя содержания микроэлементов в органах хвойных деревьев *Picea abies* и *Abies sibirica*.
- Выявленные ассоциации микроэлементов по степени их биоаккумуляции в органах хвойных деревьев.

Научная новизна. Впервые на основе комплексного анализа системы почва – хвойные деревья построены математические статистические модели распределения и дана характеристика биоаккумуляции ряда важнейших микроэлементов в органах хвойных деревьев, произрастающих в елово-пихтовых лесах условно фоновых районов Республики Марий Эл. Экспериментально установлены фоновые уровни валового содержания и определена степень биологического поглощения микроэлементов органами *Picea abies* и *Abies sibirica*. Выявлены парагенные ассоциации микроэлементов по степени их биоаккумуляции в органах хвойных деревьев.

Практическая значимость. Разработанная база данных может быть использована при создании кадастров микроэлементного состава древесной растительности региона, а также в качестве «нуль-отсчета» при наблюдениях за изменчивостью элементного состава природной среды в условиях антропогенной нагрузки в сети регионального экологического мониторинга. Кора *Picea abies* и *Abies sibirica* может быть рекомендована в качестве органа-биоиндикатора загрязнения, а зольность – как репрезентативный показатель содержания ряда микроэлементов в органах хвойных деревьев. Результаты диссертационной работы используются при чтении общепрофессиональных и специальных курсов студентам лесохозяйственного факультета МарГТУ и экологического факультета КГУ.

Апробация работы. Материалы диссертации были доложены и обсуждены на Международной научно-практической конференции «Рациональное использование лесных ресурсов» (Йошкар-Ола, 1999), Всероссийской научно-практической конференции «Водные ресурсы и экологически ответственное природопользование» (Йошкар-Ола, 1999), Всероссийской научной конференции «Экологические проблемы и пути их решения в зоне Среднего Поволжья» (Саранск, 1999), научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов МарГТУ 1998-1999 гг., совместном заседании кафедры химии и кафедры экологии, почвоведения и природопользования МарГТУ (июнь 2000 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 научных работ.

Объем и структура работы: Диссертация изложена на 144 страницах машинописного текста, состоит из введения, 3-х глав, выводов, приложений, содержит 31 таблицу и 6 рисунков. Список цитированной литературы включает 196 наименований (из них -- 45 иностранных авторов).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1. ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ (обзор литературы)

В первой главе рассматриваются факторы, определяющие элементный состав растений; механизмы поступления химических элементов в древесные растения; сведения о содержании микроэлементов в отдельных органах древесных пород.

Изучение миграции микроэлементов в биосфере стало возможным после создания В.И. Вернадским теории биогенной миграции химических элементов в земной коре. Систематическое изучение микроэлементного состава почв и растений проводится при биогеохимических поисках рудных месторождений, а также в почвах сельскохозяйственного пользования в целях районирования микроудобрений (Виноградов, 1952; Полюнов, 1945; Перельман,

1979; Ковальский, 1974; Ковалевский, 1984, Добровольский, 1983; Глазовская, 1988; Ильин, 1991; и др.).

Сведения о распределении микроэлементов по органам растений весьма противоречивы. Одни авторы указывают на большую аккумуляцию их в надземных органах (Ильин, 1973; Раменская, 1974; Ковалевский, 1991), другие – в корнях (Парибок, 1982; Карабань, 1985; Кабата-Пендиас, 1989; и др.). Характер распределения элементов по органам и тканям изменяется в течение онтогенеза. Несмотря на то, что многие исследователи занимались изучением микроэлементного состава различных видов растений, данных о содержании микроэлементов в органах хвойных деревьев *Picea abies* и *Abies sibirica* очень мало, и они разноречивы.

2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА

Во второй главе дано описание природно-климатических условий района исследования. Приводятся сведения о рельефе, гидрологических условиях, почвах и почвообразующих породах, климате и их влиянии на елово-пихтовые леса Республика Марий Эл. Исследуемая территория относится к биогеохимической провинции с недостатком молибдена и избытком марганца (Ковальский В.В., 1974).

Согласно лесорастительному районированию (Курнаев, 1973) Республика Марий Эл относится к Ветлужско-Приуральскому округу. Она расположена на стыке двух подзон: северной подзоны смешанных лесов (с липой без дуба) и южной подзоны смешанных лесов (с дубом). Более половины ее территории занято лесами; в качестве основных лесообразующих пород выступают сосна, ель, дуб. Хвойные леса занимают около 2/3 покрытой лесом площади, хвойные насаждения образуют древостой I класса бонитета.

Елово-пихтовые леса региона приурочены преимущественно к возвышенным увлажненным, но дренированным водораздельным плато; или к

поймам и первым надпойменным террасам рек. Это связано с условиями увлажнения, особенно с тем, что на возвышенных плато сформировались относительно плодородные почвы на элювии пермских отложений. Пойменные почвы также характеризуются высоким плодородием.

Объектом исследования являются *Picea abies* и *Abies sibirica*. В 1997-1998 гг. было заложено 7 пробных площадей (ПП) в темно-хвойных лесах Мари-Турекского, Советского, Сернурского, Оршанского, Ново-Торъяльского, Медведевского районов Республики Марий Эл (по методике, предложенной Родиным Л.Е., Ремезовым Н.П., Базилевичем Н.И., 1968).

Выбор ПП обусловлен местами произрастания елово-пихтовых лесов и удаленностью их от промышленных зон. Пробные площади закладывали в наиболее распространенных типах леса, в похожих лесорастительных условиях. Детально описывали живой напочвенный покров, подрост и подлесок; закладывали почвенные разрезы. На каждой ПП проводили сплошной пере-чет деревьев для выбора средних модельных деревьев, которые отбирали в непосредственной близости к ПП.

Выбранные деревья поочередно спиливали с корня, замеряли высоту начала кроны и длину ствола. Крону делили на три равные части. Из каждой трети кроны отбирали образцы хвон текущего года, старой хвон и веток. Из ствола выпиливали диски толщиной около 5 см, с пня (0,1 м), с высоты 1; 1,3; 3 и т.д. через 2 м. Спилы отделяли от коры. У каждого модельного дерева выкапывали боковой корень.

Для исследования изменения параметров древесины по радиусу ствола из каждого спила выпиливали срединные дощечки шириной 2 см в геодезических направлениях север-юг и запад-восток. Дощечки распиливали на отрезки длиной 2 см и нумеровали в порядке возрастания от сердцевины к периферии ствола. Для каждого отрезка определяли расстояние от центра ствола, гигроскопическую влажность, зольность и содержание микроэлементов. Количественный химический анализ содержания микроэлементов в золе рас-

тений осуществляли атомно-эмиссионным методом в аккредитованной лаборатории экологического контроля КГУ по методикам, рекомендованным для целей государственного экологического контроля.

Для анализа полученных данных и получения достоверных выводов применяли корреляционный, регрессионный анализы, используя статистические стандартные программы. Достоверность различий между отдельными выборками и средними значениями устанавливали по t-критерию. Для оценки значимости различий в содержании микроэлементов в различных органах хвойных деревьев применяли однофакторный дисперсионный анализ. О достоверности оценок судили по значению критерия Фишера (F). Все работы выполнены для доверительной вероятности 95 %.

Благодарности. Приношу искреннюю благодарность своим научным руководителям, профессору МарГТУ Газизуллину А.Х. - за консультационную помощь при закладке пробных площадей, Ивановой Е.Р. - за помощь в проведении спектральных анализов, с.н.с. Семанову Д.А. - за оказание консультативной помощи в математической обработке материалов, а также сотрудникам кафедры прикладной экологии КГУ и кафедры химии МарГТУ за доброе отношение и моральную поддержку.

3. СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНАХ PICEA ABIES И ABIES SIBIRICA

Для оценки валового содержания микроэлементов в хвойных деревьях проведено обследование 28 модельных деревьев (по 14 каждой породы) на 7 ПП по всем органам. Анализ экспериментальных данных по элементному составу образцов органов *Picea abies* и *Abies sibirica* на исследованных 7 пробных площадях (табл.1) показал крайне неравномерное распределение микроэлементов.

Прежде всего, следует отметить, что уровень содержания микроэлементов в органах изученных хвойных деревьев *Picea abies* и *Abies sibirica* находится в пределах средних значений, определенных по данным разных

Среднее содержание (мг/кг сухого вещества) микроэлементов в органах
Picea abies и *Abies sibirica* на условно фоновых территориях РМЭ

Picea abies												
Морфологические органы	Zn	Cu	Mo	Be	V	Co	Ni	Mn	Sn	Cr	Pb	Ba
Хвоя текущего года	10.93 ±0.76	2.077 ±0.139	0.014 ±0.001	0.115 ±0.019	0.082 ±0.010	0.400 ±0.049	4.544 ±0.956	86.57 ±13.54	0.127 ±0.007	0.094 ±0.024	0.096 ±0.014	72.20 ±6.87
Хвоя прошлых лет	13.17 ±0.18	0.719 ±0.013	0.033 ±0.003	0.041 ±0.002	0.042 ±0.006	0.600 ±0.085	0.812 ±0.075	188.32 ±27.15	0.131 ±0.004	0.112 ±0.015	4.375 ±0.044	100.49 ±5.68
Древссина	2.09 ±0.13	0.159 ±0.008	0.012 ±0.001	0.003 ±0.001	0.005 ±0.001	0.019 ±0.002	0.030 ±0.003	9.27 ±0.78	0.008 ±0.001	0.004 ±0.001	0.061 ±0.020	32.73 ±2.16
Кора	74.27 ±2.94	2.968 ±0.225	0.017 ±0.002	0.019 ±0.002	0.093 ±0.001	0.300 ±0.021	1.332 ±0.037	85.72 ±4.96	0.087 ±0.006	0.065 ±0.009	0.593 ±0.028	435.50 ±19.81
Корни тонкие	57.87 ±5.54	1.681 ±0.115	0.058 ±0.009	0.036 ±0.006	0.088 ±0.008	0.083 ±0.008	0.813 ±0.096	20.00 ±3.96	0.057 ±0.006	0.166 ±0.010	0.203 ±0.014	105.00 ±0.59
Корни толстые	26.46 ±4.99	0.781 ±0.115	0.022 ±0.003	0.015 ±0.001	0.039 ±0.003	0.057 ±0.007	0.667 ±0.048	39.11 ±8.37	0.026 ±0.003	0.046 ±0.006	0.502 ±0.111	67.50 ±2.11
Хвоя текущего года	10.64 ±1.39	1.813 ±0.185	0.029 ±0.003	0.138 ±0.009	0.024 ±0.003	0.456 ±0.017	3.237 ±0.377	92.93 ±8.94	0.115 ±0.006	0.138 ±0.022	0.260 ±0.035	88.24 ±4.61
Хвоя прошлых лет	20.22 ±0.62	1.771 ±0.056	0.033 ±0.005	0.039 ±0.007	0.081 ±0.011	0.729 ±0.052	6.757 ±0.274	325.57 ±12.74	0.196 ±0.010	0.070 ±0.018	0.795 ±0.103	150.69 ±6.95
Древссина	1.26 ±0.13	0.464 ±0.056	0.004 ±0.001	0.019 ±0.003	0.023 ±0.004	0.141 ±0.017	0.230 ±0.029	22.53 ±2.25	0.031 ±0.007	0.028 ±0.005	0.026 ±0.005	18.66 ±1.53
Кора	41.55 ±2.97	3.484 ±0.323	0.026 ±0.001	0.025 ±0.003	0.078 ±0.002	0.659 ±0.122	1.889 ±0.100	161.06 ±12.96	0.100 ±0.027	0.052 ±0.011	0.207 ±0.032	492.92 ±42.79
Корни тонкие	37.03 ±4.14	1.865 ±0.120	0.056 ±0.003	0.043 ±0.004	0.092 ±0.009	0.120 ±0.008	2.113 ±0.231	19.72 ±1.71	0.190 ±0.014	0.228 ±0.021	1.455 ±0.245	42.79 ±2.63
Корни толстые	2.04 ±0.37	0.317 ±0.028	0.010 ±0.001	0.004 ±0.001	0.023 ±0.002	0.026 ±0.001	0.143 ±0.004	8.77 ±0.87	0.032 ±0.004	0.027 ±0.004	0.078 ±0.066	100.67 ±0.28
Abies sibirica												

авторов для древесной растительности, и существенно ниже известных предельно допустимых концентраций, критических, токсичных, фитотоксичных, избыточных норм содержания.

Суммарное содержание микроэлементов в органах растений возрастает в следующем порядке: ствол - корни толстые - хвоя текущего года - корни тонкие - хвоя прошлых лет - кора.

Как показал статистический анализ (табл. 2), в хвое *Picea abies* содержание микроэлементов B, Cu, Zn варьирует умеренно ($V=4,3-7,4\%$); Sn, Ba, Be – значительно ($V=12,4-25,7\%$); для Pb, Cd, Mo, Ni – изменчивость высокая ($V=32,2-39,0\%$), а для остальных микроэлементов Cr, Mn, Co, V – вариабельность очень высокая ($V=56,8-61,2\%$).

Таблица 2

**Статистические показатели содержания микроэлементов
в хвое *Picea abies***

Элементы	Среднее содержание (X)	Стандартная ошибка (m_x)	Среднеквадратическое отклонение (σ)	Коэффициент вариации (V)
Zn	13,17	0,183	0,776	5,9
Cu	0,72	0,013	0,053	7,4
Mo	0,03	0,003	0,013	39,2
Be	0,04	0,002	0,011	25,7
V	0,04	0,006	0,025	59,4
Co	0,60	0,085	0,362	60,4
Ni	0,81	0,075	0,316	39,0
Mn	188,32	27,15	115,19	61,2
Sn	0,13	0,004	0,016	12,4
Cr	0,11	0,015	0,064	56,8
Pb	0,23	0,018	0,074	32,2
B	4,38	0,044	0,187	4,3
Ba	100,49	5,68	24,11	24,0
Cd	0,10	0,009	0,038	36,7

Как следует из полученных данных (табл.1), концентраторами элементов Ba, Zn, Cu, Pb, Cd, V является кора *Picea abies*; элементы Co, Mn, Sn, Cr, B

концентрируются в хвое прошлых лет; Ni, Be – в хвое текущего года; а Mo, Cr – корнях тонких. Наименьшее количество всех микроэлементов Ba, Mn, Zn, B, Cu, Pb, Ni, Co, Mo, Sn, Cd, V, Cr, Be содержится в древесине ствола.

Большинство микроэлементов максимально концентрируется в ассимилирующих органах *Picea abies* и *Abies sibirica*, где протекают основные жизненно важные процессы. Для хвои старой *Picea abies* характерно накопление в значительных количествах Ba, Mn, Zn, B, в меньшей степени концентрируются Ni, Cu, Co, Pb, Sn, Cr и Cd, а содержание Mo, Be, V – незначительно. В хвое молодой более энергично накапливаются Ni, Cu, Be, V. Обращает на себя внимание что различие в содержании микроэлементов в хвое текущего года и хвое прошлых лет статистически незначимо для всех микроэлементов ($F_{\text{факт}} = 0,1-2,9 < F_{\text{табл.}} = 4,1$), следовательно, при оценке валового содержания микроэлементов эти показатели можно усреднить.

Содержание микроэлементов в корнях хвойных деревьев, произрастающих в условно фоновых районах (табл.1), не выше, чем в других органах, по видимому, это связано с отсутствием необходимости выполнения барьерных функций, как это характерно для загрязненных территорий. С особенностями в морфологическом строении корневой системы *Picea abies* и *Abies sibirica* может быть связано различие в содержании микроэлементов в тонких и толстых корнях деревьев: если для *Picea abies* эти величины соизмеримы, то для *Abies sibirica* это различие статистически значимо.

Анализ характера распределения микроэлементов в древесине ствола *Picea abies* и в радиальном направлении выявил следующие особенности: варьирование содержания микроэлементов в древесине в радиальном направлении и по высоте ствола значительное ($V=19,1-92,2 \%$); вместе с тем значимых различий в содержании микроэлементов по высоте ствола, на разном расстоянии от центра к периферии ствола, в различных геодезических направлениях дисперсионный однофакторный анализ не выявил ($F_{\text{факт.}} = 0,3-1,2 < F_{\text{табл.}} = 4,0$). Следовательно, пробы древесины на спиле можно

отбирать произвольно; усредненные содержания микроэлементов в древесине на спиле 1,3м и по высоте ствола практически не отличаются в пределах ошибки опыта для всех микроэлементов (исключение составляет Pb), а по содержанию микроэлементов на спиле 1,3м можно судить о среднем содержании микроэлементов в древесине по всему стволу.

Специфика распределения микроэлементов в органах исследованных деревьев позволяет выделить методические аспекты фитогеохимического мониторинга. Так, ассимилирующие органы играют роль регуляторного механизма и весьма чувствительны к изменению условий произрастания. На основе химического состава ассимилирующих органов древесных растений может быть выявлен дефицит или избыток элементов для растений и проведена диагностика питательного статуса фитоценоза. В соответствии с полученными результатами для оценки экологического состояния лесных экосистем можно использовать *Picea abies* и *Abies sibirica*. Наиболее информативными органами по содержанию микроэлементов Cu, Mo, Be, Co, Cr, Pb, Cd являются хвоя и кора деревьев. Причем специальными опытами по изучению микроэлементного состава коры по высоте ствола дерева показано, что содержание микроэлементов в коре на высоте 1,3 м отражает среднее содержание микроэлементов в коре по всему дереву.

4. ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЯХ ЕЛОВО-ПИХТОВЫХ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Полученные в работе результаты по элементному составу органов исследованных пород деревьев, произрастающих на условно фоновых территориях РМЭ, позволили определить соответствующие фоновые значения валового содержания микроэлементов. Прежде всего, обращает на себя внимание, что хвоя *Picea abies* и *Abies sibirica* характеризуется соизмеримым содержанием микроэлементов. Значения фонового содержания большей части микроэлементов в остальных органах *Abies sibirica* несколько выше, чем в соот-

ветствующих органах *Picea abies*. Это может быть связано с большей требовательностью *Abies sibirica* к содержанию микроэлементов и элементов питания в корнеобитаемом слое.

Внутри одного и того же вида значения среднего содержания микроэлементов во всех исследованных органах практически соизмеримы, а различия в содержании микроэлементов статистически незначимы ($F_{\text{факт.}} = 0,1-1,7 < F_{\text{табл.}} = 4,1$). Этот вывод имеет практическое значение для построения программы мониторинга, так как позволяет проводить оценку микроэлементного состава деревьев данного вида на ПП по одному среднему модельному дереву, произрастающему в сходных экологических условиях.

При сравнении данных, полученных для деревьев разных пород (*Picea abies* и *Abies sibirica*), установлены значимые различия в содержании микроэлементов в древесине ствола, в коре и корнях тонких для большинства микроэлементов, а для хвои текущего года и прошлых лет различия не существенны.

Разработанная база данных фоновых уровней валового содержания микроэлементов (Zn, Cu, Mo, Be, V, Co, Ni, Mn, Sn, Cr, Pb, B, Ba, Cd) в органах *Picea abies* и *Abies sibirica*, произрастающих в елово-лиственничных лесах Республики Марий Эл, могут быть использованы как база сравнения при биогеохимических исследованиях загрязненных территорий.

5. БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ

Известно, что деревья активно участвуют в процессах миграции и превращения различных химических соединений. Интенсивность биологического поглощения микроэлемента количественно выражается через коэффициент биологического поглощения (КБП), равный отношению его содержания в золе растения к содержанию в корнеобитаемом слое почвы.

В табл. 3 в качестве примера приведены величины КБП, рассчитанные для *Picea abies*. Максимальные значения КБП зафиксированы для Zn и Ba в коре исследованных хвойных деревьев (16,1; 42,4).

Таблица 3

**Коэффициент биологического поглощения микроэлементов
и средняя зольность (Z) *Picea abies* по органам**

Эле- менты	Коэффициент биологического поглощения				
	хвоя теку- щего года	хвоя про- шлых лет	древесина ствола	кора	корни
Zn	2,8	1,8	6,9	16,1	15,2
Cu	0,7	0,4	0,7	0,8	0,5
Mo	1,0	1,0	9,0	0,98	3,2
Be	8,0	1,5	3,0	1,0	2,3
V	0,01	0,004	0,01	0,02	0,01
Co	0,6	0,5	0,4	0,4	0,2
Ni	1,1	0,1	2,0	0,3	0,3
Mn	1,2	1,4	1,5	1,1	0,7
Sn	1,8	1,0	0,02	1,1	1,0
Cr	0,02	0,01	0,7	0,01	0,03
Pb	0,07	0,08	0,7	0,4	0,4
B	0,9	0,5	2,3	0,4	0,4
Ba	7,9	5,9	10,0	42,4	2,6
Cd	4,8	3,0	5,8	6,0	3,4
Z, %	4,1	7,1	0,43	4,5	2,5

В табл. 4 приведен характер дифференциации величин КБП по органам в процессе вовлечения их в биологическую миграцию на примере модельного дерева *Picea abies*. Для *Picea abies* характерно перемещение ряда элементов (Ba, Zn) из ассимилирующих органов (хвоя) в ствол, кору и корни с усиливающейся биоаккумуляцией этих элементов в коре, в то время как для *Abies sibirica* повышение КБП в ряду: хвоя - ствол - кора характерно только для одного из элементов (Ba). Сравнивая дифференциацию микроэлементов по степени биоаккумуляции в органах модельных деревьев *Picea abies* и *Abies sibirica* можно выявить закономерный характер образования параген-

ной ассоциации элементов «сильного накопления» - Be, Mn, Mo, Cd, Sn; другая ассоциация элементов - «слабого накопления» и «среднего захвата» включает B, Cu, Co, Ni (градация по Перельману).

Таблица 4

Дифференциация микроэлементов по значениям коэффициента биологического поглощения для модельного дерева *Picea abies*

морфологические органы	Элементы биологического накопления и биологического захвата				
	энергичного накопления 100-10	сильного накопления 10-1	слабого накопления и среднего захвата 1-0,01	слабого захвата 0,1-0,01	очень слабого захвата 0,01-0,001
Хвоя текущего года		Ba, Zn, Be, Sn, Mn, Mo, Cd	B, Cu, Ni, Co	Pb, Cr	V
Хвоя прошлых лет		Ba, Zn, Be, Mn, Sn, Mo, Cd	B, Co, Cu, Ni	Pb, Cr	V
Кора	Ba, Zn	Mn, Sn, Be, Mo, Cd	Cu, Co, B, Pb, Ni	Cr	V
Корни	Ba, Zn	Mo, Be, Sn, Mn, Cd	Cu, Co, Ni, Pb, B	Cr	V
Ствол		Zn, Mo, Be, Ba, Mn, Sn, Cd	B, Cu, Pb, Co, Ni	Cr	V

Представляет интерес определение и анализ биогеохимического показателя «Относительное содержание элемента в различных органах растений» (ОСОР), предложенного А.Л. Ковалевским для количественной оценки характера распределения химических элементов в органах растений. Прежде всего сравнительный анализ показателей ОСОР, рассчитанных относительно содержания микроэлементов в стволе деревьев, выявил тенденцию к постоянству соотношения содержания ряда элементов (Cd, Ba, Cu, B) в органах *Abies sibirica* и *Picea abies*.

Максимальные значения ОСОР зафиксированы для Zn (6,0), а минимальные для Cr (0,2) в коре *Abies sibirica* (рис. 1).

Анализ биогеохимического показателя ОСОР выявляет базипетальный характер распределения микроэлементов в органах исследованных хвойных пород деревьев с понижением их содержания от хвои к корням и стволу.

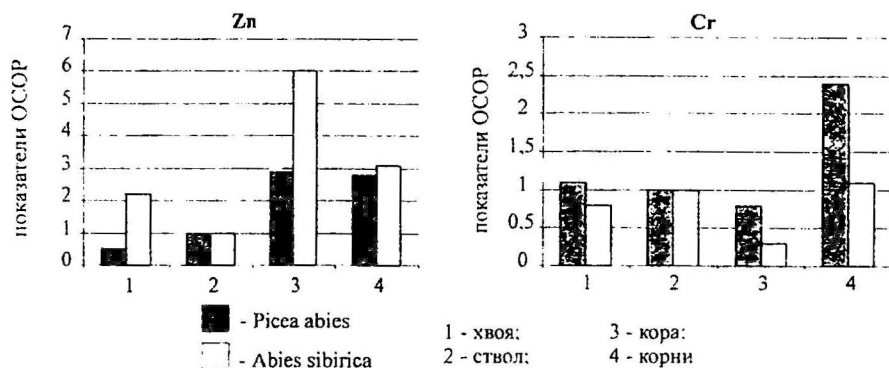


Рис. 1. Показатели ОСОР для *Picea abies* и *Abies sibirica* (на примере цинка и хрома)

Присутствие минеральных (зольных) элементов в органах растений - это результат сложных биогеохимических и физиологических взаимодействий в системе почва-растение. В связи с этим зольность - важный биогеохимический параметр, характеризующий состояние растения в среде его обитания. Показатель зольности и содержание микроэлементов в органах дерева имеют большое теоретическое и практическое значение для выявления участия микроэлементов в создании природного органического вещества.

Нами обнаружена довольно тесная корреляционная связь между зольностью и содержанием микроэлементов Sn, Cu, Co, Ni в модельном дереве *Picea abies*. На основе регрессионного анализа была разработана математическая статистическая модель, описывающая эту зависимость (табл. 5).

Обращает на себя внимание, что для ряда элементов (Zn, Be, V, Co, Ni) зависимость описывается одинаковой функцией, что предположительно

можно связать с необходимостью вовлечения этих элементов для обеспечения сопряженных стадий фотосинтеза.

Таблица 5

Математическое описание взаимосвязи между показателем зольности (x) и содержанием микроэлементов (y) для *Picea abies*

Элементы	Вид функции	Статистические показатели	
		R	F
Zn	$y = 2,10 \cdot x^{0,974}$	0,89	166,5
Cu	$y = \exp [0,787 - (0,751/x)]$	0,92	250,5
Be	$y = - 4,97 \cdot x^{0,827}$	0,82	84,4
V	$y = - 2,58 \cdot x^{0,930}$	0,81	83,8
Co	$y = - 2,82 \cdot x^{1,075}$	0,92	271,8
Ni	$y = - 1,78 \cdot x^{1,328}$	0,95	369,7
Mn	$y = (453 + 118 \cdot x)^2$	0,89	167,9
Cr	$y = (0,0776 + 0,0362 \cdot x)^2$	0,73	49,0

Найденные зависимости позволяют использовать просто определяемую в экспериментальном отношении зольность растительного образца как показатель содержания в нем ряда важных микроэлементов.

6. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА - ОРГАНЫ *PICEA ABIES* И *ABIES SIBIRICA*

На основе полученных результатов нами выявлены корреляционные связи между содержанием микроэлементов в органе и в корнеобитаемом слое почвы по каждому из 14 микроэлементов, характеризующие взаимосвязь параметров среды обитания и физиологической роли элемента в организме дерева и в отдельных органах хвойных деревьев. Дано математическое описание выявленных корреляционных связей.

В табл. 6 в качестве примера приведены математические статистические модели на примере ряда элементов (B, Zn, Pb).

Таблица 6

**Математическое описание распределения микроэлементов
в системе почва - органы *Picea abies***

Элемент	Содержание микроэлементов		Вид функции	Статистические показатели	
	X	Y		R	F
Zn	Почва	Кора	$y = 23.7 + 7,81 \sqrt{x}$	0,96	37,2
Pb	Почва	Ствол	$y = -0,0424 + 0,00169 x$	0,94	24,1
Pb	Кора	Ствол	$y = -0,0143 + (0,0245/x)$	0,66	6,2
B	Хвоя	Ствол	$y = 1/ [1,30 + (7,74/x)]$	0,74	9,81
B	Хвоя	Кора	$y = 1,09 + (3,017/x)$	0,75	10,1
B	Почва	Хвоя	$y = 1/ [0,00734 + (0,00586/x)]$	0,92	16,3
B	Почва	Ствол	$y = 1/ [-7,82 + (1250/x)]$	0,95	27,4
B	Почва	Кора	$y = -1,74 + (430/x)$	0,93	19,64

Найденные математические статистические модели выявляют сложный характер распределения микроэлементов в системе почва - органы деревьев как результат воздействия многих биотических и абиотических факторов. Наибольшее количество тесных корреляционных связей в содержании микроэлементов в отдельных органах *Picea abies* и почве выявлено для бора, миграция которого описывается одинаковыми функциями.

ВЫВОДЫ

1. Установлены фоновые уровни валового содержания микроэлементов (Zn, Cu, Mo, Be, V, Co, Ni, Mn, Sn, Cr, Pb, B, Cd, Ba) в органах *Picea abies* и *Abies sibirica* елово-пихтовых лесов на условно фоновых территориях РМЭ и создана база данных.
2. Уровни содержания микроэлементов во всех исследованных образцах хвойных деревьев, произрастающих на условно фоновых территориях, находятся в пределах средних значений, определенных по данным разных

авторов для древесной растительности, и существенно ниже известных предельно допустимых концентраций, критических, токсичных, фитотоксичных, избыточных норм содержания.

3. По возрастанию суммарного содержания микроэлементов органы *Picea abies* и *Abies sibirica* располагаются в следующий ряд: ствол, корни толстые, хвоя текущего года, корни тонкие, хвоя прошлых лет, кора. Хвоя *Picea abies* и *Abies sibirica* характеризуется соизмеримым содержанием микроэлементов, а для остальных органов выявлено статистически значимое превышение содержания микроэлементов в *Abies sibirica* по сравнению с *Picea abies*.
4. Выявлена достоверная значимость различий в содержании микроэлементов в различных органах каждого из изученных пород хвойных деревьев. Определены фундаментальные биогеохимические показатели относительного содержания элементов в различных органах растений (ОСОР) для *Picea abies* и *Abies sibirica*, произрастающих на условно фоновых территориях, и выявлена тенденция постоянства соотношения в содержании ряда элементов (Ba, Sn, B, Cu, Cd) в органах хвойных деревьев по показателям ОСОР. Показан базипетальный характер распределения микроэлементов в органах исследованных хвойных пород деревьев с понижением содержания от хвои к корням и стволу.
5. На основе комплексного анализа системы почва – хвойные деревья (органы) создана математическая статистическая модель распределения ряда важнейших микроэлементов в органах *Picea abies* и *Abies sibirica*, произрастающих в елово-лихтовых лесах условно фоновых районов Республики Марий Эл и корнеобитаемом слое почвы. Наибольшее количество тесных корреляционных связей выявлено для бора, миграция которого описывается одинаковыми функциями.
6. На основе экспериментальных данных о содержании элементов в системе почва-растение рассчитаны коэффициенты биологического поглощения

для органов *Picea abies* и *Abies sibirica*; установлено значительное сходство в степени биоаккумуляции большинства микроэлементов хвойными деревьями *Picea abies* и *Abies sibirica*. Выявлены парagenные ассоциации микроэлементов: Be, Mn, Sn, Mo, Cd – элементы сильного накопления во всех органах дерева; B, Co, Ni, Cu – элементы слабого накопления и среднего захвата.

7. Разработаны методические рекомендации для составления программ фитогеохимического мониторинга:

- на основе исследования содержания микроэлементов по высоте ствола и в его радиальном сечении методом дисперсионного однофакторного анализа показано, что по составу спила на высоте 1,3м можно судить о содержании микроэлементов по всей высоте ствола;

- индикационно значимым органом для оценки содержания большей части микроэлементов в организме хвойных деревьев является кора *Picea abies* и *Abies sibirica*;

- на основе экспериментальных данных о зольности органов изученных хвойных деревьев найдена и математически описана тесная взаимосвязь между этим показателем и содержанием некоторых микроэлементов, что может быть использовано для целей мониторинга.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Винокурова Р.И., Осипова В.Ю., Латыпова В.З. Содержание микроэлементов в структурных частях хвойных деревьев // Экологические проблемы и пути их решения в зоне Среднего Поволжья: Материалы Всерос. науч. конф. 27-30 сентября 1999 г. –Саранск, 1999. –С. 61-62.

2. Винокурова Р.И., Осипова В.Ю., Андриянова О.В., Латыпова В.З. Изменчивость химизма фракций ели и пихты Марийского Заволжья // Водные ресурсы и экологически ответственное природопользование: Материалы

лы Всерос. науч.-практ. конф., 18-19 марта 1999 г. –Йошкар-Ола, 1999. –С. 134-136.

3. Осипова В.Ю., Винокурова Р.И., Латыпова В.З. Распределение некоторых зольных микроэлементов в деревьях ели // Труды науч.-техн. конф. МарГТУ, секция «Химия леса», -Йошкар-Ола, 1999. –С. 24-27. Деп. ВИНТИ, 25.10.99, № 3162-99.

4. Винокурова Р.И., Тарасенко Е.В., Осипова В.Ю., Андриянова О.В. Зольность кроны деревьев и древесины ствола // Экология и леса Поволжья: Сб. ст. –Йошкар-Ола, 1999. –С. 12-13.

5. Винокурова Р.И., Осипова В.Ю., Волкова И.Ю., Андриянова О.В., Латыпова В.З. Содержание тяжелых металлов в фотосинтезирующих органах лесных растений в пойме реки Малая Кокшага // Водные ресурсы и экологически ответственное природопользование: Материалы Всерос. науч.-практ. конф., 18-19 марта 1999 г. –Йошкар-Ола, 1999. –С. 132-134.

6. Винокурова Р.И., Волкова И.Ю., Андриянова О.В., Осипова В.Ю., Тарасенко Е.В., Латыпова В.З. Характер накопления свинца в растительности елово-пихтового леса // Рациональное использование лесных ресурсов: Материалы Международной науч.-практ. конф. 20-22 апреля 1999 г. –Йошкар-Ола, 1999. –С. 63-64.

7. Винокурова Р.И., Осипова В.Ю., Латыпова В.З. Характер и степень биоаккумуляции микроэлементов органами хвойных деревьев на условно фоновых территориях.//Журнал «Экологическая химия», 2000 (в печати).

ИР № 020302 от 18.02.97 ПЛД № 2018 от 06.10.99

Подписано в печать 18.10.2000 г. Формат 60х84/16. Печать офсетная.

Усл. п.л. 1,1. Тираж 100 экз. Заказ № 2052

ООП МарГТУ, 424006, Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

200